

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra teorie obvodů

Řídicí jednotka pro osvětlovací systémy v laboratorních zvěřincích

Marie Zlámalová

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.
Studijní program: Lékařská elektronika a bioinformatika
Květen 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zlámalová** Jméno: **Marie** Osobní číslo: **492363**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řídicí jednotka pro osvětlovací systémy v laboratorních zvěřincích

Název bakalářské práce anglicky:

Control Unit for Lighting Systems in Laboratory Menageries

Pokyny pro vypracování:

Návrh a realizace řídicí jednotky včetně implementace nutného minimálního firmware pro ověření její funkce. Řídicí jednotka má umožňovat ovládání LED panelů s DALI předřadníky. Jednotka má dále umožnit připojení k internetu pro obousměrnou komunikaci (odesílám provozních a diagnostických dat, odesílání notifikací, možnost vzdáleného nastavení) a offline logovat podstatné provozní události.

1. Seznamte se s problematikou osvětlení v chovech laboratorních zvířat.
2. Navrhněte a realizujte řídicí jednotku pro ovládání LED panelů s DALI předřadníky umožňující ovládání a monitorování stavu osvětlení v laboratorních zvěřincích.
3. Ověřte funkčnost realizovaného zařízení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Lima AMCT, da Silva Sergio LP, de Souza da Fonseca A. Photobiomodulation via multiple-wavelength radiations. *Lasers Med Sci.* 2020 Mar;35(2):307-316. doi: 10.1007/s10103-019-02879-1.
- [2] Peirson SN, Brown LA, Potheary CA, Benson LA, Fisk AS. Light and the laboratory mouse. *J Neurosci Methods.* 2018 Apr 15;300:26-36. doi: 10.1016/j.jneumeth.2017.04.007.
- [3] Castelhana-Carlos MJ, Baumans V. The impact of light, noise, cage cleaning and in-house transport on welfare and stress of laboratory rats. *Lab Anim.* 2009 Oct;43(4):311-27. doi: 10.1258/la.2009.0080098.
- [4] Aulsebrook AE, Jechow A, Krop-Benesch A, Kyba CCM, Longcore T, Perkin EK, van Grunsven RHA. Nocturnal lighting in animal research should be replicable and reflect relevant ecological conditions. *Biol Lett.* 2022 Mar;18(3):20220035. doi: 10.1098/rsbl.2022.0035

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Havlík, Ph.D. katedra teorie obvodů FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

Ing. Jan Havlík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Poděkování

Děkuji především vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D. za podporu, ochotu, rady při tvorbě tohoto projektu a za pomoc při návrhu a výrobě plošného spoje. Dále děkuji své rodině, přátelům a kolegům za podporu během psaní této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 25. května 2023

.....

Abstrakt

V laboratorních chovech je nutné zaznamenávat parametry důležité pro blahobyt živočichů, kteří v těchto chovech žijí. Mezi vybrané parametry patří teplota, vlhkost vzduchu a intenzita osvětlení. Zaznamenávání těchto parametrů neslouží pouze pro sledování a kontrolu životních podmínek, slouží také pro replikovatelnost laboratorních testů, které v laboratoři probíhaly. Řídicí jednotka umožňuje uživateli podívat se na zaznamenané parametry skrze server ThingSpeak.com. Dále uživatele prostřednictvím emailu informuje o anomáliích, které mohou nastat. Přes webovou stránku může uživatel ovládat světla, která jsou řízena DALI předřadníky. Může tak na dálku světla v laboratorních chovech rozsvítit, zhasnout nebo nastavit na zvolenou hodnotu. Základním prvkem řídicí jednotky je mikrokontrolér ESP8266, součástí kterého je WiFi modul. Pomocí WiFi modulu je řídicí jednotka připojena k internetu.

Zařízení bylo otestováno v nasimulovaných laboratorních podmínkách v laboratořích fakulty elektrotechnické.

Klíčová slova: řídicí jednotka, DALI, ESP8266, Arduino IDE, laboratorní chovy

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.

Abstract

In laboratory farms it is necessary to record parameters important for the welfare of the animals living in these farms. Selected parameters include temperature, air humidity and light intensity. The recording of these parameters is not only for monitoring and controlling welfare conditions, but also for replicating laboratory tests carried out in the laboratory.

The controller allows the user to view the recorded parameters through the ThingSpeak.com server. It also informs the user via email of anomalies that may occur. Through the website, the user can control lights that are controlled by DALI ballasts. He can thus remotely turn the lights in the laboratory floors on, off or set to the chosen value. The basic element of the control unit is the ESP8266 microcontroller, which includes a WiFi module. Using the WiFi module, the controller is connected to the internet.

The device was tested in simulated laboratory conditions in the laboratories of the Faculty of Electrical Engineering.

Keywords: control unit, DALI, ESP8266, Arduino IDE, Laboratory Menageries

Title translation: Control Unit for Lighting Systems in Laboratory Menageries

Obsah

1 Úvod	1	4.2.1 Senzor teploty a vlhkosti HTU21D	15
1.1 Cíl bakalářské práce.....	1	4.2.2 Luxmetr BH1750	16
1.2 Motivace	2	4.3 Adaptér pro mikro SD kartu ...	17
2 Laboratorní chovy	3	5 DALI protokol	19
2.1 Osvětlení v laboratorních chovech	4	5.1 Kódování Manchester	19
2.1.1 Fotoreceptory savců	4	5.2 Master-slave komunikace	20
2.1.2 Regulace osvětlení	5	5.3 Formát DALI paketu	21
2.1.3 Praktické poznatky pro chov myší v laboratořích	6	5.4 Zapojení sběrnice	21
3 Měřené parametry	9	5.5 Příkazy pro používání DALI ...	22
3.1 Teplota vzduchu	9	6 Návrh řídicí jednotky	23
3.2 Vlhkost vzduchu	10	6.1 Plošný spoj a jeho osazení	23
3.3 Intenzita osvětlení	10	7 Softwarové řešení	27
4 Použitý hardware	13	7.1 Inicializace	28
4.1 Mikrokontrolér ESP8266	13	7.2 Hlavní smyčka programu	28
4.2 Použité senzory	15	7.2.1 Data na SD kartě	29
		7.2.2 WiFi	30
		7.2.3 EEPROM	30

7.2.4 Emailová komunikace	30
7.2.5 NTP server a ukládání časových údajů	31
7.3 ThingSpeak.com	32
7.3.1 Fungování ThingSpeak.com .	33
7.3.2 ThingSpeak.com v Arduino IDE	33
7.4 Webový server	34
7.4.1 Implementace webového serveru	34
7.4.2 Uživatelské rozhraní serveru .	35
8 Ověření funkčnosti	37
8.1 Testování DALI sběrnice	38
9 Závěr	41
Literatura	43
A Realizovaná řídicí jednotka	47
B Návrh plošného spoje	49

Obrázky

2.1 Vnímání světla na vlnové délce 600 nm, převzato z [1]	5	6.1 Schéma zapojení řídicí jednotky	24
2.2 Intenzita světla během noci, převzato z [5]	6	6.2 Návrh plošného spoje	25
4.1 Rozložení vývodů ESP8266, převzato z [10]	14	7.1 Schéma části programu setup	28
4.2 ESP8266 jako stanice a soft-AP, převzato z [12]	15	7.2 Schéma části programu loop	29
4.3 Rozložení vývodů HTU21D, převzato z [15]	16	7.3 Ukázka několika řádků s uloženými daty	29
4.4 Rozložení vývodů BH1750, převzato z [17]	16	7.4 Ukázka emailu, který odeslala řídicí jednotka	31
4.5 Rozložení mikro SD card adaptéru, převzato z [18]	17	7.5 Jednotlivé grafy naměřených hodnot na ThingSpeak.com	34
5.1 Příklad kódovaného signálu, převzato z [21]	20	7.6 Uživatelské rozhraní webové stránky	35
5.2 Master - Slave paket, převzato z [23]	20	8.1 Formát paketu pro příkaz "ON".	38
5.3 Slave - Master paket, převzato z [23]	20	8.2 Formát paketu pro příkaz "OFF"	38
5.4 Napěťové úrovně DALI, převzato z [22]	22	A.1 Řídicí jednotka z vrchní strany .	47
		A.2 Řídicí jednotka ze spodní strany	48
		B.1 Rozložení plošného spoje vrchní strana	49
		B.2 Rozložení plošného spoje spodní strana	50

Tabulky

4.1 Popis vývodů ESP8266, volně inspirováno [11]	14
5.1 Ukázky DALI příkazů, inspirováno z [24]	21
7.1 Příkazy pro získání času, inspirováno z [27]	32

Kapitola 1

Úvod

Neustále přibývá věcí, které je zapotřebí testovat před tím, než je začnou používat lidé. Pro tyto účely slouží laboratorní zvěřince. Na různých zvířatech se testují léky, kosmetika apod. určené pro člověka. Abychom mohli pokusy prohlásit za platné, je potřeba je provádět v prostředí a za podmínek, které jsou pro zvířata přirozená. Pro noční živočichy je důležitý denní odpočinek. Nelze na nich tedy provádět pokusy během dne, kdy jsou ve svém přirozeném prostředí neaktivní. Při dodržování denního rytmu živočichů můžeme dosáhnout lepších výsledků při testování. Z toho důvodu je důležité monitorovat parametry, které živočichy ovlivňují a snažit se pro ně vytvořit prostředí co nejpodobnější tomu přirozenému.

1.1 Cíl bakalářské práce

Cílem mé bakalářské práce bylo sestrojít řídicí jednotku pro osvětlovací systémy v laboratorních zvěřincích, která bude pomocí senzorů měřit vybrané parametry, umožní uživateli skrze DALI předřadníky vzdáleně ovládat osvětlení a bude uživatele v reálném čase informovat o anomáliích (změna teploty apod.), které mohou nastat. Řídicí jednotka zaznamenává parametry, kterými jsou teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a intenzita osvětlení. Parametry bude odesílat přes internet na webové rozhraní ThingSpeak.com, kde budou neustále dostupné pro uživatele. DALI rozhraní bude uživatel ovládat pomocí webové stránky, na které budou tlačítka pro konkrétní příkazy. Softwarové provedení bude mít za úkol parametry odesílat, informovat uživatele emailem o kritických změnách parametrů a ukládat parametry na SD kartu v pří-

padě, že dojde k výpadku internetového připojení. Zařízení bude umístěno v krabici a jeho ovládání bude přizpůsobeno personálu, který s ním bude pracovat.

■ 1.2 Motivace

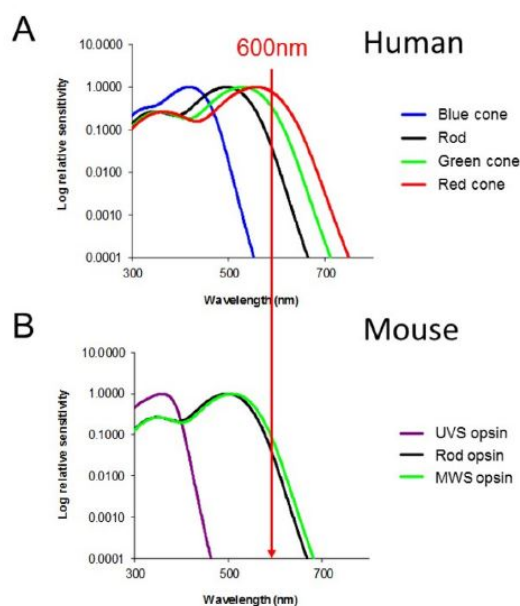
Motivací, která mě vedla k výběru této bakalářské práce, bylo vytvořit takové zařízení, které pomůže zlepšit podmínky pro život zvířat v laboratorních chovech. Ne vždy je totiž živočich držen v přívětivém prostředí. Monitoringem jednotlivých parametrů chci dosáhnout dvou věcí. Díky ukládání parametrů zajistit replikovatelnost laboratorních testů, které byly provedeny. Zadruhé vytvořit takové životní prostředí, aby zvířata prožívala v zajetí důstojný život.

Kapitola 2

Laboratorní chovy

Vědecký zájem o laboratorní chovy neustále narůstá. Pro laboratorní účely se používají různé druhy živočichů. Jedná se především o savce (myši, krysy, psy atd.). Nejrozšířenějším druhem v laboratorním prostředí jsou myši a krysy a to hlavně z toho důvodu, že se rychle množí, jsou malé a mají rozsáhlou genomickou informaci. [1] Zvířata v laboratorních chovech jsou chráněna v dokumentu *European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes* v Apendixu A *Guidelines for the accommodation and care of animals* z roku 2006, ve Štrasburku <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=123>. V dokumentu je stanoveno, že všechna experimentální zvířata musí žít ve správném prostředí, musí mít alespoň minimální možnost svobody, musí mít přístup k potravě, vodě a musí jim být poskytnuta péče odpovídající jejich zdraví. [2] Dále bylo vydáno v roce 2007 doporučení *Guidelines for the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes*, ve kterém jsou rozeepsány jednotlivé body péče o laboratorní zvířata a vedení laboratorních chovů. [3]

Zvířata žijící v laboratorních chovech musí být ušetřena zbytečných bolestí, utrpení, stresu a trvalých poškození. I přesto, že jsou celý život držena v zajetí, mají nárok na určité svobody a zároveň jim musí být umožněno, aby se vyhnuly strádání. Pokud je zvíře drženo pod stresem, může u něj vzniknout biologická odpověď na stresové faktory (může dojít až k trvalému poškození) a výsledky experimentů nemohou být považovány za průkazné. K dodržování všech bodů do značné míry přispívají zařízení, ve kterých zvířata žijí. Na blahobyt zvířete má vliv velikost klece, světlo (jeho intenzita, spektrální složení, typ osvětlení), vzduchová ventilace, teplota, vlhkost vzduchu nebo přítomnost člověka. V klecích je dále důležitý podkladový materiál. U krys bylo prokázáno,



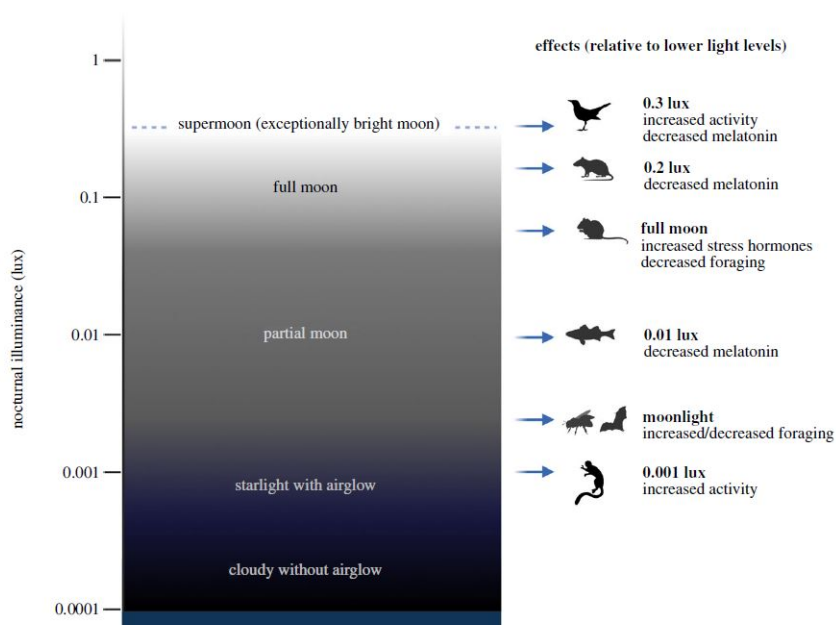
Obrázek 2.1: Vnímání světla na vlnové délce 600 nm, převzato z [1]

2.1.2 Regulace osvětlení

Pokud pro myši vytváříme v laboratoři umělé osvětlení, musí být správně regulováno. V případě, že jsou v laboratoři chovány bílé myši - albíni (jedna z mutací inbredních myší) je nutné jim osvětlení přizpůsobit. Jsou totiž více sensitivní na jasné světlo než normální myši. Typ osvětlení by měl obsahovat složky denního světla. Vzhledem k tomu, že jsou myši sensitivní na jiné vlnové délky než člověk, je důležité vzít v úvahu i takové světelné zdroje, které vydávají UV nebo IR záření. Personál musí dbát i na bodové zdroje světla (např. blikající kontrolka na počítači), které mohou ovlivňovat vnímání hlodavců. [4]

Během tmavé fáze nestačí stanovit podmínky jako 0 lx. Tento údaj je nepřesný. Z fyzikálního hlediska to znamená, že nedochází k pohybu žádných fotonů. V momentě, kdy luxmetr zaznamená 0 lx, nemusí se jednat o něco jako absolutní tmu. Uživatel tak musí znát minimální hranici luxmetru, aby mohl provádět přesná měření. V průběhu noci můžeme naměřit intenzitu osvětlení v rozmezí 0.0001 lx - 1 lx, která závisí zejména na fázi Měsíce. Během úplňku můžeme naměřit až 0.5 lx. Dále záleží na počasí, jestli je jasná noc a jsou vidět hvězdy nebo je zataženo. Jedná se tedy o relativně široké rozmezí, které má zásadní vliv na život nočních zvířat. Noc v laboratorním prostředí musí být přirozená, ne příliš tmavá ani světlá. Jak bylo řečeno, ve volné přírodě jsou v noci zdrojem světla hvězdy a Měsíc, v zimě odráží světlo sníh a tím zvyšuje jeho intenzitu. Světelné podmínky se tedy v průběhu určitých

časových období mění. Něco podobného bychom měli vytvořit i v laboratořích. [5]



Obrázek 2.2: Intenzita světla během noci, převzato z [5]

2.1.3 Praktické poznatky pro chov myší v laboratořích

Myši jsou noční zvířata. To znamená, že jsou aktivní především v noci. Přes den (během světelné fáze) jsou v útlumu, odpočívají, spí a neprojevují žádnou aktivitu. Jejich denní rytmus je tedy opačný než rytmus člověka. V laboratorních chovech narážíme na první problém. Pokusy by totiž měly být prováděny během tmavé fáze, ve které jsou myši přirozeně aktivní. Jedním z možných řešení se jeví otočit denní a noční fázi hlodavců v laboratorním zařízení. Pomocí umělého osvětlení vytvořit pro hlodavce noc během dne a naopak. Pracovníci by mohli pracovat s noční vizí. Tím se ale komplikuje péče o zvířata - čištění klecí, manipulace s hlodavci. Zároveň je nutné dbát na správné pracovní a světelné podmínky pro člověka. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. je stanovena minimální hodnota osvětlení na pracovišti na 200 lx. [1]

Dalším problémem je měření intenzity světla. Pro člověka je přirozené měřit intenzitu osvětlení v jednotkách lux (lx). V kapitole Měřené parametry 3 je tato jednotka definována. Takto je ale nedefinována pro člověka

nikoli pro zvíře. Zvířata vnímají světlo odlišně. Pokud zůstaneme u myši, jejichž sítnice byla popsána výše, jejich vnímání světla je jiné. Jednotka lux zohledňuje skladbu čípků u člověka. Čípky v sítnici myši jsou jiné. Proto by dávalo smysl používat místo jednotky lux a intenzity osvětlení veličinu hustota zářivého toku, která má jednotku $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Hustota zářivého toku je radiometrická jednotka. Rozdíl mezi fotometrickými a radiometrickými veličinami je následující. Fotometrické veličiny se zabývají tím, jak záření působí na lidský zrak. Nepopisují energii, kterou záření přenáší. Tuto energii popisují radiometrické veličiny. Proto se tyto veličiny rozdělují také na subjektivní (fotometrické) a objektivní (radiometrické). [6] K měření hustoty zářivého toku se používají spektrofotometry. Spektrofotometry jsou drahé a nejsou tolik rozšířené jako luxmetry. Ty jsou na trhu cenově dostupné a rozšířené. Jednotka, ve které měří, je patrná z jejich názvu, používají luxy. Z důvodu jejich dostupnosti se používají v laboratorních chovech, i když je jejich používání do značné míry chybné. Alespoň tak dochází k nějakému měření intenzity světla. I v mé bakalářské práci je použit luxmetr BH1750. Vzhledem k tomu, že lux je definován pro zrakové ústrojí člověka, vznikl převodník mezi hustotou zářivého toku v $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ a intenzitou světla v lx založen na ftopigmentu, který obsahuje myši sítnice. Toolbox je dostupný na stránce <https://www.ndcn.ox.ac.uk/team/stuart-peirson>. [1]

Kapitola 3

Měřené parametry

Řídicí jednotka zaznamenává tři parametry – teplota, vlhkost a intenzita osvětlení. Aby mohly laboratorní zvířata provádět experimenty na zvířatech, musí zajistit vhodné životní podmínky pro zvířata, která k experimentům využívají. Dalším důvodem pro zaznamenávání parametrů je mít možnost některé experimenty znovu zopakovat. Aby mohly být experimenty zopakovány, musí personál vědět, za jakých podmínek byl experiment původně prováděn. Výsledky totožných experimentů se totiž mohou značně lišit, pokud jsou prováděny za různých podmínek. V *Guidelines for the accomodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes* je doporučeno teplotu zaznamenávat a měřit každý den. [3]

3.1 Teplota vzduchu

Teplota je fyzikální stavová veličina, kterou měříme pomocí teploměrů. Udává, jaké množství tepla je obsaženo ve hmotě. Existuje několik různých teplotních stupnic, které slouží k vyjadřování teploty. Mezi ty nejběžnější patří Celsiova stupnice ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheitova stupnice ($^{\circ}\text{F}$) a Kelvinova stupnice (K).

Stupnice jsou definovány pomocí význačných bodů. Celsiova stupnice je založena na hodnotách 0°C neboli bod mrazu vody a 100°C neboli teplota varu vody, obojí za standardních podmínek. Fahrenheitova stupnice má bod mrazu na hodnotě 32°F a bod varu na 212°F . Kelvinova stupnice se využívá

ve vědě a definuje tzv. absolutní nulu 0 K. Teplotnímu rozdílu 1 °C odpovídá teplotní rozdíl 1 K.

Pokud by byla řídicí jednotka použita v zemích, kde se za základní jednotku teploty uvažuje stupeň Fahrenheita, musel by být do softwaru doimplementován převodní vztah mezi stupnicemi Celsia a Fahrenheita. Převodní vztah je následující: [7]

$$C = \frac{5}{9} (F - 32) \quad (3.1)$$

$$F = \frac{9}{5} C + 32 \quad (3.2)$$

Teplota má na živočichy značný vliv. Na základě teploty se živočichům obměňuje jejich srst a má vliv také na jejich chování. Validita výsledků je tak do určité míry teplotou ovlivněna. Zvířata, která žijí v přirozeně chladných podmínkách, by neměla být držena ve vytápěných místnostech. Je důležité nastavit teplotu v laboratorních chovech tak, aby byla pro živočichy přirozená. [3]

3.2 Vlhkost vzduchu

Vlhkost udává, jaké množství vodních par je obsaženo ve vzduchu. Vlhkost je bezrozměrná veličina, zapisuje se v procentech. Relativní vlhkost vzduchu dává do poměru okamžité množství vodních par ve vzduchu a množství par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. [7]

Některé druhy živočichů vyžadují regulaci vlhkosti. Např. potkani snesou mnohem menší úroveň vlhkosti než psi. Na vlhkosti závisí jejich zdravotní stav a odvíjí se od toho kvalita života. [3]

3.3 Intenzita osvětlení

Intenzita osvětlení neboli osvětlenost je fotometrická veličina, která je definována jako světelný tok dopadající na jednotku plochy. Její jednotkou je lux (lx), což je světelný tok 1 lm, který dopadá na plochu o velikosti 1 m². Tato jednotka je definována na vlnové délce 555 nm a je přizpůsobena

zrakovému ústrojí člověka. Ve vnitřních prostorách, které jsou osvětleny, lze naměřit 200–1000 lx. Vliv intenzity osvětlení na živočichy byl popsán v kapitole 2 Laboratorní chovy. [8]

Kapitola 4

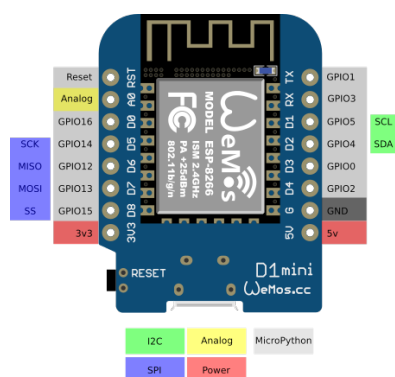
Použitý hardware

Pro sestavení řídicí jednotky byl použit vysoce integrovaný mikrokontrolér ESP8266, ke kterému byly připojeny dva senzory – senzor měřící teplotu a vlhkost HTU21D a senzor měřící intenzitu osvětlení BH1750. K mikrokontroléru je dále připojen adaptér pro mikro SD kartu. Osvětlení lze ovládat pomocí DALI předřadníků.

4.1 Mikrokontrolér ESP8266

Wemos D1 Mini je cenově dostupná vývojová deska s vestavěným WiFi rozhraním podporující TCP/IP síťový protokol. Jeho rozměry jsou 35x25 mm. Je napájen přes mikro USB konektor. Mikrokontrolér disponuje 11 GPIO nožičkami, které mají své specifické funkce. Každou nožičku lze použít pro I2C komunikaci. Napájecí napětí desky je 3,3 V nebo 5 V. Deska je kompatibilní s vývojovým prostředím Arduino Integrated Development Environment (IDE), se kterým lze desku snadně propojit a nahrávat do ní vytvořený zdrojový kód pouze za použití USB portu. [9] Rozložení vývodů je uvedeno na obrázku 4.1.

Každý vývod má své specifické vlastnosti. Výše bylo zmíněno, že pro I2C komunikaci lze využít jakékoli dva vývody. Pro SPI komunikaci jsou jasně definovány vývody GPIO12 - GPIO15. V tabulce 4.1 je uvedena funkcionálna jednotlivých vývodů.



Obrázek 4.1: Rozložení vývodů ESP8266, převzato z [10]

Label	GPIO	Notes
D0	GPIO16	high at boot, used to wake up from deep sleep
D1	GPIO5	often used as SCL - I2C
D2	GPIO4	often used as SDA - I2C
D3	GPIO0	connected to FLASH button, boot fails if pulled LOW
D4	GPIO2	high at boot
D5	GPIO14	SCLK - SPI
D6	GPIO12	MISO - SPI
D7	GPIO13	MOSI - SPI
D8	GPIO15	CS - SPI
RX	GPIO3	high at boot, RX output
TX	GPIO1	high at boot, TX input
A0	ADC0	Analog input

Tabulka 4.1: Popis vývodů ESP8266, volně inspirováno [11]

Při realizaci řídicí jednotky byly využity piny GPIO4 a GPIO5 pro I2C komunikaci. Piny GPIO12 až GPIO15 byly zapojeny jako SPI komunikace. Na piny GPIO2 a GPIO16, které jsou high at boot byl přiveden DALI obvod.

WiFi na ESP8266 funguje dvěma způsoby. Mikrokontrolér buď můžeme přes přístupový bod (AP - access point) připojit k WiFi. Vzniká tak stanice. Připojení k WiFi umožňuje router (AP), který nám poskytuje internetové připojení. Každý přístupový bod lze identifikovat pomocí SSID (Service Set Identifier). SSID přístupového bodu spolu s heslem k WiFi předáme mikrokontroléru a dojde k připojení - vytvoření stanice. Tento způsob je použit v mém projektu. Druhá možnost je tzv. soft-AP neboli vytvoření vlastní WiFi sítě. ESP8266 tedy umožňuje vytvořit si síť, ke které můžeme připojit další zařízení. Tyto způsoby můžeme na ESP8266 využívat zároveň. Na následujícím obrázku jsou znázorněny obě možnosti. [12]



Obrázek 4.2: ESP8266 jako stanice a soft-AP, převzato z [12]

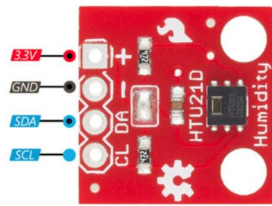
V rámci ESP8266 využívám paměť EEPROM. EEPROM je zkratkou pro Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Znamená to, že data jsou v EEPROM uložena po restartu mikrokontroléru nebo po výpadku napětí. Do této paměti lze zapisovat malý objem dat, které slouží pro čtení. Velikost EEPROM v mikrokontroléru je 4kB. [13]

4.2 Použité senzory

Pro měření jednotlivých parametrů byly vybrány dva senzory. Senzor teploty a vlhkosti HTU21D a luxmetr BH1750. Jejich výhodou je, že komunikují přes I2C sběrnici. Je možné je připojit na dva stejné GPIO piny ESP8266 (SCL a SDA), každý má jinou adresu a lze tak s každým komunikovat zvlášť. Oba senzory jsou napájeny stejným napětím.

4.2.1 Senzor teploty a vlhkosti HTU21D

HTU21D je digitální senzor relativní vlhkosti s teplotním výstupem. Vlhkost od 20 % do 80 % měří s přesností ± 2 %, teplotu v rozsahu 0 °C až cca 70 °C měří s přesností $\pm 0,3$ °C. Jeho rozměry jsou 3 x 3 mm. HTU21D komunikuje po I2C sběrnici. Je napájen ze 3,3 V, ale napájecí napětí může být až 3,6 V. Senzor nevyžaduje kalibraci. Teplotu měří v rozsahu -40 °C až 125 °C, vlhkost v rozsahu od 0 % do 100 %. [14] Rozložení senzoru HTU21D je na obrázku 4.3

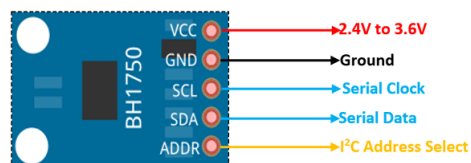


Obrázek 4.3: Rozložení vývodů HTU21D, převzato z [15]

Senzor je k mikrokontroléru ESP8266 připojen přes I2C piny GPIO4 a GPIO5. Zapojení senzoru je patrné na obrázku 6.1.

4.2.2 Luxmetr BH1750

BH1750 je senzor pro měření intenzity světla. Jeho rozměry i cena jsou srovnatelné se senzorem HTU21D. Jedná se o nejrozšířenější luxmetr na trhu. Vkládá se do mobilních telefonů, do LCD televizí, notebooků atd. Tento senzor vyrábí japonská společnost Rohm Semiconductor. Intenzitu světla měří v rozsahu od 1 lx do 65535 lx. Má v sobě zabudovanou I2C komunikaci a je napájen z 3,3 V. Jeho maximální napájecí napětí je stejné jako u senzoru teploty a vlhkosti. Senzor má kromě čtyř výstupních vývodů také jeden vstupní vývod, pomocí kterého se dá nastavit adresa senzoru. [16]

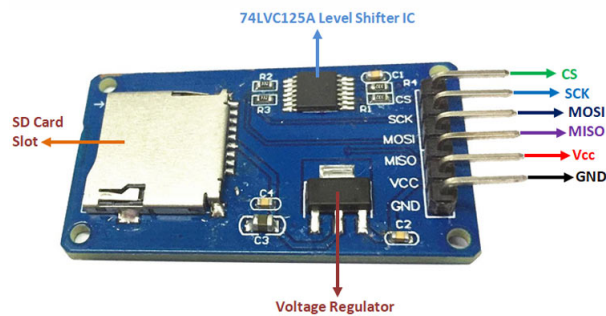


Obrázek 4.4: Rozložení vývodů BH1750, převzato z [17]

K ESP8266 je připojen stejným způsobem jako předchozí senzor. Zapojení je patrné z obrázku 6.1.

4.3 Adaptér pro mikro SD kartu

Během měření jsou data zaznamenávána na SD kartu, která je k ESP8266 připojena pomocí mikro SD card adaptéru. Díky tomuto adaptéru může uživatel snadno ovládat SD kartu. Adaptér komunikuje pomocí SPI protokolu. Adaptér obsahuje regulátor napětí, takže může být připojen na napájecí napětí 3,3 V. Velikost adaptéru je relativně velká, jeho rozměry jsou 46 x 24 mm. Modul má šest vývodů – GND a VCC a poté čtyři vývody potřebné pro SPI komunikaci (MISO, MOSI, SCK a CS). [18]



Obrázek 4.5: Rozložení mikro SD card adaptéru, převzato z [18]

Do adaptéru je vložena 4GB mikro SD karta od společnosti MediaRange. Na SD kartu jsou ukládána data v momentě, kdy dojde k výpadku internetu. Je tak zajištěno, že uživatel nepřijde o žádná data. Po opětovném připojení k internetu se začnou data postupně odesílat na ThingSpeak.com. Pro práci s SD kartou je použita knihovna `SD.h`.

Kapitola 5

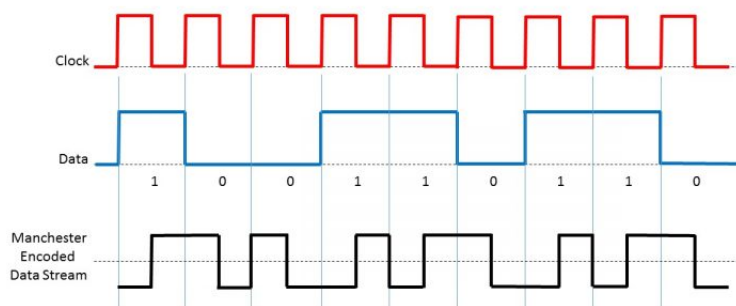
DALI protokol

DALI je zkratkou pro Digital Addressable Lighting Interface. Díky DALI můžeme na dálku ovládat osvětlení v jakýkoli prostorách pomocí příkazového řádku nebo webového serveru. DALI je oblíbené především kvůli své jednoduchosti v implementaci i v použití. V momentě, kdy zařízení nainstalujeme, nabízí se nám široká škála funkcí, které DALI poskytuje.

V této práci využívám DALI pro řízení světel v laboratorních chovech. Uživatel má možnost světla na dálku ovládat pomocí webového serveru. Personál může světla rozsvítit, zhasnout a nebo nastavit postupné snižování resp. zvyšování intenzity světla tak, aby nedošlo k příliš rychlým skokům v momentě, kdy se mění den a noc.

5.1 Kódování Manchester

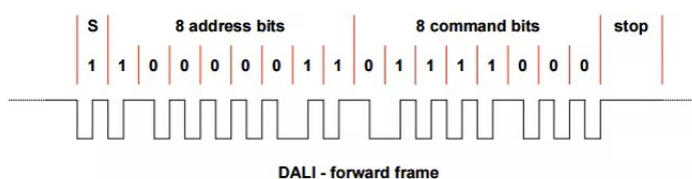
V komunikaci po DALI sběrnici se využívá tzv. Manchester kódování. Jedná se o binární signál, který můžeme přepsat na nuly a jedničky. Signál se dekóduje tak, že pokud přechází hrana z vysoké na nízkou úroveň, jedná se o nulu. Pokud hrana přechází z nízké na vysokou úroveň, jedná se o jedničku. Tento způsob dekódování je označen IEEE 802.3. Na obrázku vidíme dohromady tři signály. Vrchní signál odpovídá hodinám, prostřední signál chceme dekódovat a spodní signál je výsledný dekódovaný. Kódování jsme dosáhli pomocí metody XOR mezi časovým a prostředním signálem. [21]



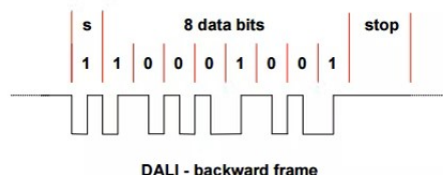
Obrázek 5.1: Příklad kódovaného signálu, převzato z [21]

5.2 Master-slave komunikace

DALI komunikuje na principu master – slave nebo slave – master. Jedno zařízení typu master může ovládat až 64 zařízení. Zařízení můžeme rozdělit do 16 skupin. Každé zařízení typu slave má svou vlastní adresu, která je mu přidělena pomocí softwaru. Od hlavního zařízení (např. webový server, příkazový řádek) přichází tzv. forward frame. Jedná se o příkaz dlouhý 19 bitů (1 bit pro start, 8 bitů pro adresu, 8 bitů pro data a zbylé 2 bity jsou stop). Vedlejší zařízení může odeslat odpověď (backward frame) dlouhou 11 bitů. Složení této odpovědi je stejné jako u odpovědi hlavního zařízení až na adresu, kterou tento paket neobsahuje. To znamená 1 start bit, 8 data bitů a 2 stop bity. [22]



Obrázek 5.2: Master - Slave paket, převzato z [23]



Obrázek 5.3: Slave - Master paket, převzato z [23]

5.3 Formát DALI paketu

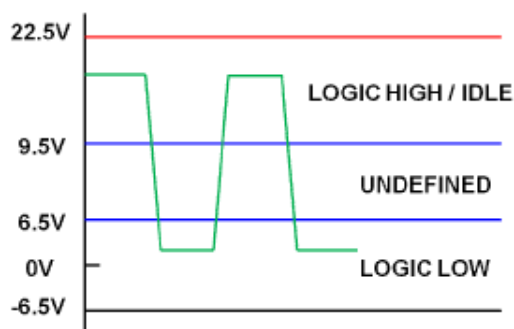
Paket má speciální formát, ze kterého lze rozpoznat, co nastane. Osm adresních bitů přesně specifikuje zařízení, pro které je příkaz určen. Příkaz můžeme ale poslat i do všech zařízení nebo pouze do některých (podle skupin). Pokud je první bit v adresním paketu '0', jedná se o krátkou adresu. Pokud je '1', jedná se o broadcast adresu nebo skupinovou adresu. Poslední bit v adresním paketu je Selector. Opět může nabývat hodnot nula a jedna. Pro '0' máme přímé řízení výkonu datovým bytem - power arc. Pro '1' očekáváme příkaz - command. V backward frame '0xFF' znamená 'ano'. Pokud řádek zůstane prázdný, je to považováno za odpověď 'ne'. Poté existují tzv. speciální příkazy, které začínají číslem 101 nebo 110. Tyto speciální příkazy se používají k vytváření skupin, k inicializaci zařízení, k vytváření adres atd. Speciální příkazy musí být odeslány dvakrát za sebou v rámci 100 ms. Pokud by byl příkaz odeslán pouze jednou, zařízení ho bude považovat za chybný a příkaz se nevykoná. Datovými bity ovládáme stav světla. Můžeme regulovat jas, zhasnout nebo rozsvítit. Pomocí sady příkazů může uživatel nastavit i maximální hodnotu, na kterou se světla rozsvítí při požadavku ON. Zároveň se můžeme slave zařízení dotazovat na jeho stav. Pokud zašleme dotaz na stavovou informaci, dostaneme od slave zařízení odpověď. S rozmachem LED osvětlení byly vytvořeny rozšiřující příkazy pro LED drivery. V tabulce jsou příklady nepřímých příkazů, příkazů pro nastavení systémových parametrů a dotazů na stav. [24]

Bin sekvence	Popis
0aaaaaa1 00000000	Vypnutí světel do stavu off
0aaaaaa1 00000010	Snížení jasu určitou rychlostí na minimální level
0aaaaaa1 0110gggg	Přidání zařízení do skupiny g
0aaaaaa1 10010011	Dotaz, jestli je světlo zapnuté

Tabulka 5.1: Ukázky DALI příkazů, inspirováno z [24]

5.4 Zapojení sběrnice

DALI se skládá ze dvou vodičů. Délka těchto vodičů může být maximálně 300 m. Podle velikosti rozdílu napětí vyhodnocuje DALI nízkou a vysokou úroveň (0 nebo 1). Vysoká úroveň napětí se pohybuje mezi 9,5 V až 22,5 V. Jako nízká úroveň je vyhodnocen stav pod 6,5 V až do -6,5 V. [22] DALI má vlastní napájecí obvod.



Obrázek 5.4: Napěťové úrovně DALI, převzato z [22]

5.5 Příkazy pro používání DALI

DALI protokol v řídicí jednotce je nastaven tak, aby pomocí sběrnice ovládal osvětlení. To je možné rozsvítit, zhasnout a nebo nastavit tak, aby měla intenzita osvětlení konkrétní hodnotu v rozmezí 0 - 255. Níže jsou uvedené příkazy, které byly použity.

- `BroadcastOn()` nastaví všechna světla do stavu on. Světla svítí na maximální intenzitu, kterou mají povolenou.
- `BroadcastOff()` vypne všechna světla do stavu off.
- `BroadcastDAPC()` umožňuje přímé řízení světel. Pomocí tohoto příkazu nastavujeme konkrétní intenzitu osvětlení.
- `SetMaxLevel()` nastaví maximální hladinu intenzity osvětlení. Tento příkaz se používá v souvislosti s příkazem `BroadcastDAPC()`. To znamená, že hodnota, na kterou chceme přímým příkazem nastavit intenzitu osvětlení, se zároveň nastaví jako maximální hladina.

Kapitola 6

Návrh řídicí jednotky

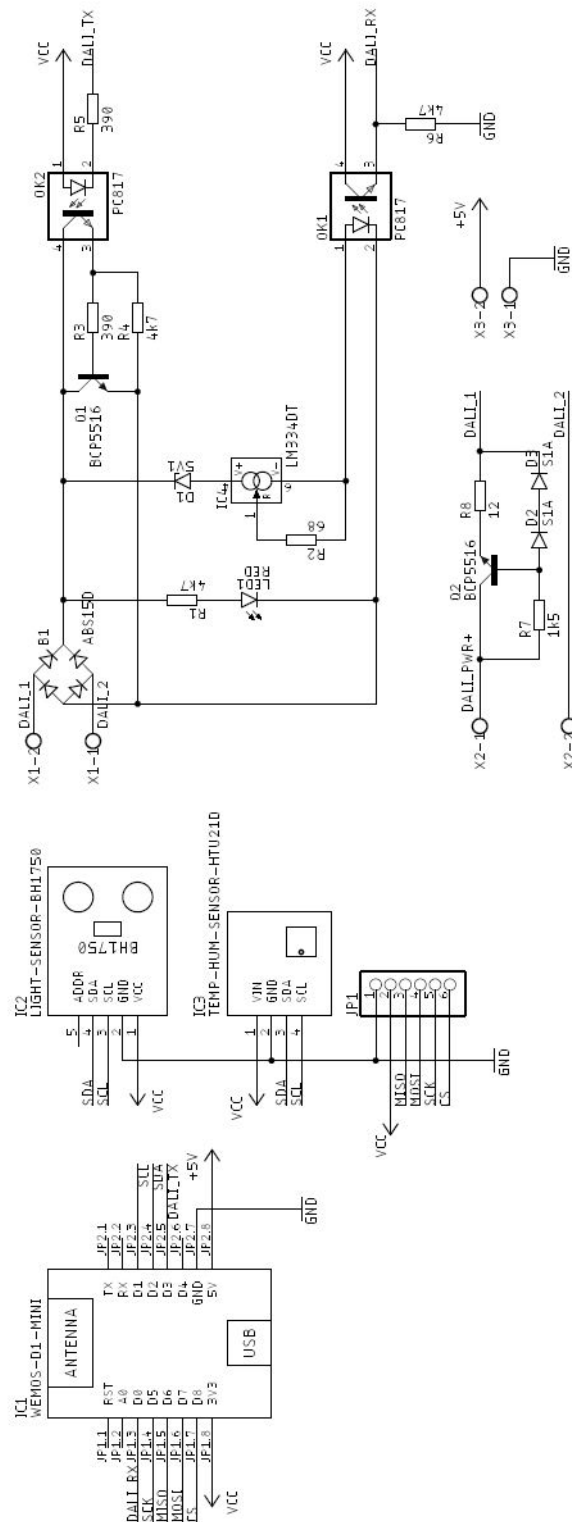
Řídicí jednotka byla navrhnutá tak, aby byla její realizace jednoduchá a efektivní. Funkčnost jednotlivých senzorů byla nejprve testována s mikrokontrolérem Arduino Nano. Poté bylo Arduino Nano nahrazeno vývojovou deskou Wemos D1 mini, jehož výhody jsou uvedeny v kapitole 4. ESP8266 se dá připojit k WiFi a je kompatibilní s vývojovým prostředím Arduino IDE, ve kterém byl implementován veškerý software. Knihovny jsou přenositelné, takže fungují jak pro Arduino, tak i pro ESP8266.

Měřicí senzory komunikují po I2C sběrnici, které jsou na mikrokontroléru přiděleny vývody GPIO4 a GPIO5. Senzory jsou přivedeny na napětí 3,3 V. Mikro SD adaptér využívá ke komunikaci SPI. Pro tuto komunikaci jsou vyhrazeny vývody GPIO12 až GPIO15. Adaptér je přiveden na napájení 3,3 V. Mikro SD karta je ve formátu FAT16. Na vývody GPIO2 a GPIO16 je připojen DALI obvod. Schéma zapojení je na obrázku 6.1.

6.1 Plošný spoj a jeho osazení

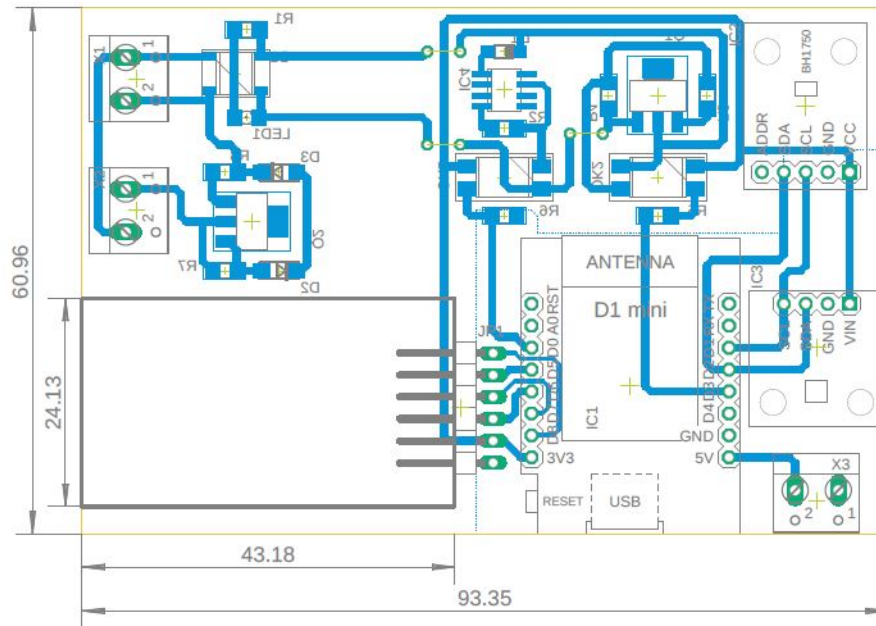
Plošný spoj byl navrhnut v programu Eagle, který umožňuje vytvořit elektronický návrh zapojení. Po vytvoření nákresu byla deska vyfrézována a následně osazena. Deska je jednostranná. Zespodu plošného spoje se nachází obvod pro DALI, z vrchu je potom samotné zapojení ESP8266, senzorů a adaptéru pro mikro SD kartu a také je zde rozlita země GND. DALI obvod byl na desku připájen metodou SMT. Součástky na vrchní straně plošného

6. Návrh řídicí jednotky



Obrázek 6.1: Schéma zapojení řídicí jednotky

spoje byly připájeny metodou THT. Plošný spoj obsahuje tři svorkovnice pro připojení DALI sběrnice, pro napájení DALI a pro napájení mikrokontroléru z 5 V. Na obrázku 6.2 je návrh plošného spoje. Modrou barvou je znázorněna spodní vrstva, šedou barvou je znázorněna vrchní plocha.



Obrázek 6.2: Návrh plošného spoje

Kapitola 7

Softwarové řešení

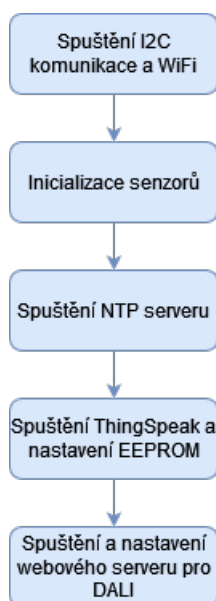
Celý software byl navrhnout ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které je kompatibilní nejen s Arduinem ale i s deskou ESP8266. Knihovny se dají přenášet a lze je použít na oba typy mikrokontrolérů. Liší se pouze inicializace jednotlivých pinů. Software se skládá ze dvou částí - část, která řídí procesy a část, která umožňuje DALI ovládání a zobrazuje naměřená data (webový server a ThingSpeak.com).

Řídicí jednotka má několik funkcí. V první řadě jednou za 60 s naměří parametry (teplota, vlhkost a intenzita osvětlení) a přímo je odešle na server ThingSpeak.com. Na serveru ThingSpeak.com si každý uživatel s přístupovými údaji může zobrazit grafy, na kterých vidí průběh měření. Tyto grafy si může uživatel zobrazit kdekoli. Pokud je řídicí jednotka připojena k internetu, data jsou aktualizována každých 20 s až 60 s. Jednou za 60 s jsou odeslána aktuální data. Při výpadku internetu jsou data ukládána na SD kartu a následně (po opětovném připojení) jsou postupně doodesílána na ThingSpeak.com. Na ThingSpeak.com jsou data zpětně odesílána jednou za 20 s. Naměřené hodnoty jsou kontrolovány a v momentě, kdy přesáhnou stanovenou hranici, je uživateli odeslán email. V tomto emailu je uživateli oznámeno, která z veličin není ve stanovených mezích. Součástí kódu je také funkce pro ovládání DALI předřadníků. Přes jednoduchý webový server může uživatel pomocí tlačítek ovládat intenzitu osvětlení, rozsvícení a zhasnutí světel. Na webovém serveru se zároveň zobrazují aktuálně naměřené hodnoty teploty, vlhkost a intenzity osvětlení.

Kód obsahuje prvotní nastavení setup, nekonečnou smyčku loop a poté jednotlivé funkce, které zajišťují fungování celé řídicí jednotky.

7.1 Inicializace

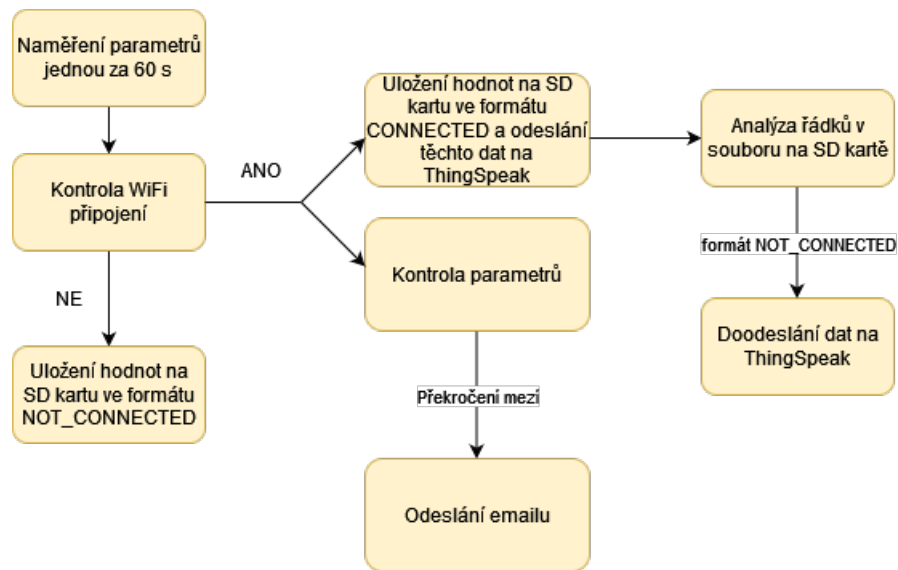
Ve funkci setup dochází k inicializaci všech senzorů, WiFi, serverů apod. Tato část proběhne pouze jednou (ihned po spuštění). Spouští se zde I2C komunikace senzorů s mikrokontrolerem. Proces, který probíhá v této funkci, je znázorněn na blokovém diagramu. NTP server, ThingSpeak.com a EEPROM budou blíže vysvětleny v dalších podkapitolách.



Obrázek 7.1: Schéma části programu setup

7.2 Hlavní smyčka programu

Nekonečná smyčka loop zajišťuje neustálé měření parametrů, jejich odesílání na ThingSpeak.com, ukládání na SD kartu a jejich kontrolování. V případě výpadku internetu dochází automaticky k opakovanému připojení k WiFi síti. Každých 60 s je zavolána funkce `ziskejHodnoty`. Tato funkce získá údaje z jednotlivých senzorů. Zkontroluje se, zda je řídicí jednotka připojena k internetu. Pokud ano, data jsou uložena na SD kartu v daném formátu a ihned odeslána na server ThingSpeak.com, zároveň dojde k jejich vyhodnocení, aby mohl být v kritickém případě odeslán email. V případě, že došlo k výpadku internetu, začnou se data ukládat na SD kartu. Po prvním znovu připojení k WiFi je spuštěna funkce, která odesílá na ThingSpeak.com data uložená během výpadku.



Obrázek 7.2: Schéma části programu loop

7.2.1 Data na SD kartě

Na SD kartu jsou ukládána všechna naměřená data. Data jsou uložena do řádků, které mají předem stanovený formát. Začátek každého řádku je označen číslicí. V případě, že je na začátku '1', byla data ihned po naměření odeslána na ThingSpeak.com. Pokud je na začátku '0', data byla zaznamenána během výpadku internetu. Na řádku je dále uvedeno datum a čas, kdy byl vzorek naměřen. Za časovým údajem se nachází naměřené hodnoty. V momentě, kdy je řídicí jednotka připojena k internetu, prochází čítač řádky v souboru. Když narazí na řádek začínající nulou, uloží údaje do proměnných a následně dojde k odeslání těchto dat na ThingSpeak.com. Čítač je uložen v EEPROM. V případě výpadku napájení je tak hodnota čítače zapsaná v paměti a po opětovném spuštění jednotky se pokračuje v odesílání dat, která ještě nebyla odeslána. Například na prvním řádku jsou zaznamenány tyto hodnoty: '1' znamená, že byla jednotka připojena k internetu. Vzorek byl naměřen 10.5.2023 v 12:41:40. Hodnota teploty je 24 °C, hodnota vlhkosti vzduchu je 29 % a hodnota intenzity osvětlení je 341 lx.

```

1C2023-05-10T12:41:40D24;29H0341
1C2023-05-10T18:28:15D24;32H0295
0C2023-05-10T18:29:15D24;31H0295
0C2023-05-10T18:30:15D25;30H0295
  
```

Obrázek 7.3: Ukázka několika řádků s uloženými daty

7.2.2 WiFi

Pro nastavení WiFi v ESP8266 je použita knihovna `ESP8266WiFi.h`. SSID a heslo musí být nadefinovány před kompilací a nahráním do ESP8266.

```
// nadefinování ssid a hesla
const char ssid[] = "WiFi_name";
const char heslo[] = "password";
```

Proces připojení k WiFi může zabrat několik vteřin. V momentě, kdy je zařízení k WiFi připojeno, změní se status na `WL_CONNECTED`. Řídicí jednotka je ve funkci stanice (připojuje se k WiFi přístupovému bodu). V případě výpadku sítě nám knihovna umožní se automaticky znovu připojit k AP, pokud je připojení opět dostupné.

7.2.3 EEPROM

Na paměť EEPROM se zapisuje hodnota čítače, který obsahuje číslo řádku v souboru s uloženými parametry na SD kartě. Čítač nám říká, který řádek byl odeslán jako poslední. V paměti EEPROM je uložen z toho důvodu, abychom o informaci nepřišli při výpadku napětí (odpojení od sítě nebo pouze vypnutí zařízení).

Nejprve musíme vložit knihovnu pro komunikaci s pamětí EEPROM. `EEPROM.h`. Poté se EEPROM spustí pomocí příkazu `EEPROM.begin(size)`. Po spuštění můžeme na EEPROM začít zapisovat nebo z ní číst. Velikost (`size`) je počet bytů, které chceme použít (od 4 do 4096 bytů). [26] Po použití příkazu `EEPROM.write()` dojde k zapsání dat na EEPROM, ale nedojde k jejich uložení. Pro uložení musí být vždy zavolán příkaz `EEPROM.commit()`. Při čtení stačí použít příkaz `EEPROM.read(address)` s adresou, kde jsou údaje uloženy.

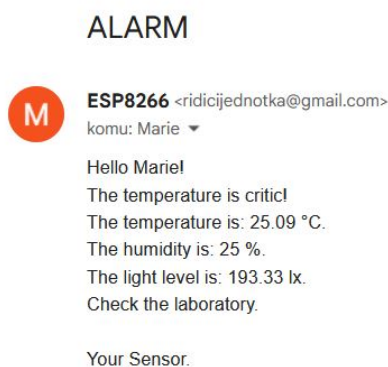
7.2.4 Emailová komunikace

Knihovna `ESP_Mail_Client.h` umožňuje řídicí jednotce odesílat emaily. Emailová komunikace probíhá v rámci SMTP (Simple Mail Transfer Protocol).

SMTP pracuje podle protokolu TCP/IP na portu 25. Stanovuje pravidla pro emailovou komunikaci přes internet. Zpráva může být odeslána více příjemcům a může kromě textu obsahovat i obrázky nebo videa. [19]

Pro řídicí jednotku byl vytvořen účet `ridicijednotka@gmail.com`. K této emailové adrese má ESP8266 přístup přes heslo aplikace. Heslo aplikace je šestnáctimístný přístupový kód, který méně zabezpečeným aplikacím umožňuje přístup do GoogleAccount. V případě, že některá z naměřených hodnot překročí stanovenou mez, odešle řídicí jednotka jako `AUTHOR_EMAIL` zprávu příjemci. Příjemce může být kdokoli, jeho emailová adresa ale musí být definována jako `RECIPIENT_EMAIL` v inicializační části kódu pro SMTP komunikaci.

Podoba emailu je nastavena pomocí příkazů ze zmíněné knihovny. Lze nastavit předmět emailu, jméno příjemce a samozřejmě samotné znění zprávy. Řídicí jednotka odesílá emaily ve dvou případech. Zaprvé v momentě, kdy je řídicí jednotka spuštěna. Odešle se email s informací o spuštění. Ve druhém případě jde o email, který uživatele varuje, že některá naměřená hodnota přesáhla stanovenou mez. V emailu je uvedeno, která z hodnot je kritická a jakou má hodnotu.



Obrázek 7.4: Ukázka emailu, který odeslala řídicí jednotka

7.2.5 NTP server a ukládání časových údajů

NTP server neboli Network Time Protocol slouží pro synchronizaci hodin různých zařízení. Tento server je v softwarové části využíván kvůli uložení času v momentě, kdy došlo k výpadku internetu a naměřené hodnoty jsou ukládány na SD kartu. Protože jsou později odesílány na ThingSpeak.com, je

potřeba znát časový údaj o tom, kdy byly změřeny. Součástí řídicí jednotky není žádné zařízení (RTC), které by umožňovalo měření času, proto byl využit NTP server.

Mikrokontrolér v roli klienta žádá NTP server o časový údaj. K získání údajů z NTP serveru je použita knihovna `WiFiUdp.h`. Tato knihovna zajišťuje komunikaci mezi ESP8266 a NTP serverem. V úvodní části dojde k inicializaci `Udp` objektu a portu, ze kterého budeme dostávat pakety. Definuje se také název NTP serveru `pool.ntp.org`.

Když řídicí jednotka získá časový údaj, dále zajišťuje práci knihovna `TimeLib.h`. Pomocí příkazů z této knihovny lze přiřadit do proměnných datum a čas. Příkazy, které jsou v softwarové části využívány jsou uvedeny v tabulce 7.1. Časový údaj se poté uloží na SD kartu společně s naměřenými

Příkaz	Popis
<code>now()</code>	vrátí konkrétní čas v sekundách od 1.ledna 1970
<code>year()</code> , <code>month()</code> , <code>day()</code>	příkazy pro datum
<code>hour()</code> , <code>minute()</code> , <code>second()</code>	příkazy pro čas

Tabulka 7.1: Příkazy pro získání času, inspirováno z [27]

hodnotami. Díky tomu může později řídicí jednotka odeslat naměřené údaje na ThingSpeak.com. Na ThingSpeak.com se data uloží do časové osy. Tzn., že pokud budou údaje odeslány až po několika hodinách, zařadí se do časové osy správně.

7.3 ThingSpeak.com

ThingSpeak je open-sourcová platforma, která uživatelům poskytuje cloudové úložiště. Jedná se o tzv. IoT (Internet of Things) a API aplikaci. Komunikuje se zařízeními, které mají přístup k HTTP pomocí internetu. Uživatelům umožňuje sbírat data v reálném čase a dále nasbíraná data vizualizovat. Má plnou podporu Matlabu od MathWorks, ve kterém mohou uživatelé provádět analýzu dat. [28]

■ 7.3.1 Fungování ThingSpeak.com

Pro používání ThingSpeak se musí uživatel do aplikace přihlásit. Poté je mu umožněno vytvořit kanál, do kterého se budou sbírat data. Každý kanál může znázorňovat až osm jednotlivých polí. To znamená, že do jednoho kanálu může být odesláno osm různých parametrů. Data mohou být na platformu buďto odeslána přímo ze zařízení přes internet nebo je uživatel může nahrát ve formě JSON, XML nebo CSV formátu. V reálném čase se pak data zobrazují v grafech. Nasbíraná data si může uživatel stáhnout - opět mu jsou k dispozici tři výše vyjmenované formáty. Každý kanál má přiděleno identifikační číslo a je jasně definován vlastním API klíčem.

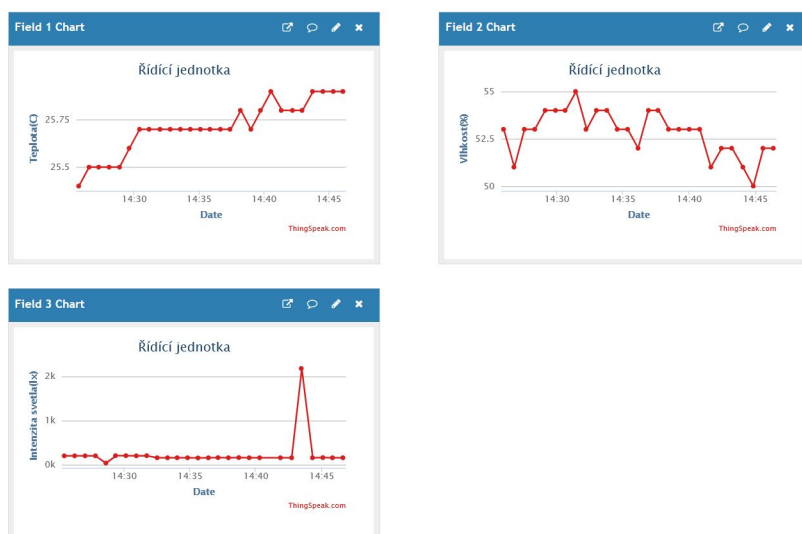
■ 7.3.2 ThingSpeak.com v Arduino IDE

V Arduino IDE je použita knihovna `ThingSpeak.h`. Tato knihovna zajišťuje komunikaci se serverem. Řídící jednotce musí být poskytnut API kód a ID kanálu, pomocí kterého se k serveru a k danému kanálu připojí. Odesílání dat na ThingSpeak.com probíhá dvěma různými způsoby.

Ten první slouží k odesílání naměřených dat v reálném čase. Řídící jednotka je připojena k internetu a může tak ihned komunikovat s platformou. K okamžitému odesílání jsou použity následující funkce: `ThingSpeak.setField()` a `ThingSpeak.writeFields(Channel_ID, myWriteAPIKey)`. Prvnímu příkazu jsou poskytnuty dva parametry (`field_number` a naměřená hodnota), resp. do konkrétního pole zapiš danou hodnotu. Druhá funkce pak zajistí současné odeslání všech hodnot.

Druhým způsobem jsou odesílána data z SD karty, kam byly uloženy během výpadku internetu. Vzhledem k tomu, že jsou data odesílána se zpožděním, musí k nim být přidán časový údaj (moment, kdy byly změřeny). Jedině tak se mohou zařadit na časovou osu. Odesílání dat funguje stejně jako v prvním případě, akorát je použita ještě funkce `ThingSpeak.setCreatedAt()`. Ta zajistí správné zařazení dat.

Pro řídicí jednotku je na ThingSpeak.com vytvořen kanál s názvem *Naměřené hodnoty v laboratorních chovech*. V kanále jsou vytvořena tři pole pro teplotu, vlhkost a intenzitu osvětlení. Každý graf zobrazuje naměřená data.



Obrázek 7.5: Jednotlivé grafy naměřených hodnot na ThingSpeak.com

7.4 Webový server

Při tvorbě webového serveru pro komunikaci s DALI byl využit asynchronní server. To znamená, že k aktualizaci stránky dochází automaticky a není zapotřebí obnovy stránky.

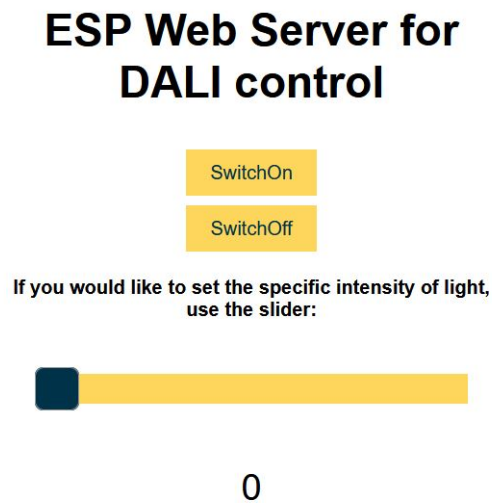
7.4.1 Implementace webového serveru

Pro samotné fungování serveru byly použity dvě knihovny `ESPAsyncTCP.h` a `ESPAsyncWebServer.h`. Vzhled webové stránky byl naprogramován v HTML jazyce. HTML kód je rozdělen do několika skupin. Nejprve je část s názvem *head*. V této části se nastavují různé parametry (velikost písma, barva písma, použitý font...), vzhled tlačítek a posuvníku, barva stránky atd. Také je zde příkaz pro optimalizaci zobrazení stránky na různých zařízeních, díky kterému lze stránku zobrazit i na mobilním telefonu. Poté následuje část s názvem *body*. Zde se definují jednotlivé názvy a popisy. Nakonec dojde k inicializaci webového serveru na konkrétním portu `AsyncWebServer server(80)`.

V sekci `setup` je server nastaven. Na konci této sekce je `server.begin()`, Tento příkaz spustí server. V sekci `loop` pak není potřeba server znovu aktualizovat. Asynchronní server zaznamenává změny sám a na tomto základě se obnovuje.

7.4.2 Uživatelské rozhraní serveru

Webová stránka je dostupná po zadání IP adresy řídicí jednotky do vyhledávače. Pokud je zařízení dostupné - připojené k napájení a k WiFi, zobrazí se uživateli stránka s názvem *ESP Web Server for DALI control*. Na této stránce má uživatel možnost použít buď tlačítka SwitchOn a SwitchOff nebo může využít posuvník. Použitím tlačítek dojde k rozsvícení nebo k zhasnutí všech světel, které jsou k DALI připojeny. Pokud se rozhodne pro použití posuvníku, má možnost nastavit si konkrétní hodnotu intenzity osvětlení.



Obrázek 7.6: Uživatelské rozhraní webové stránky

Kapitola 8

Ověření funkčnosti

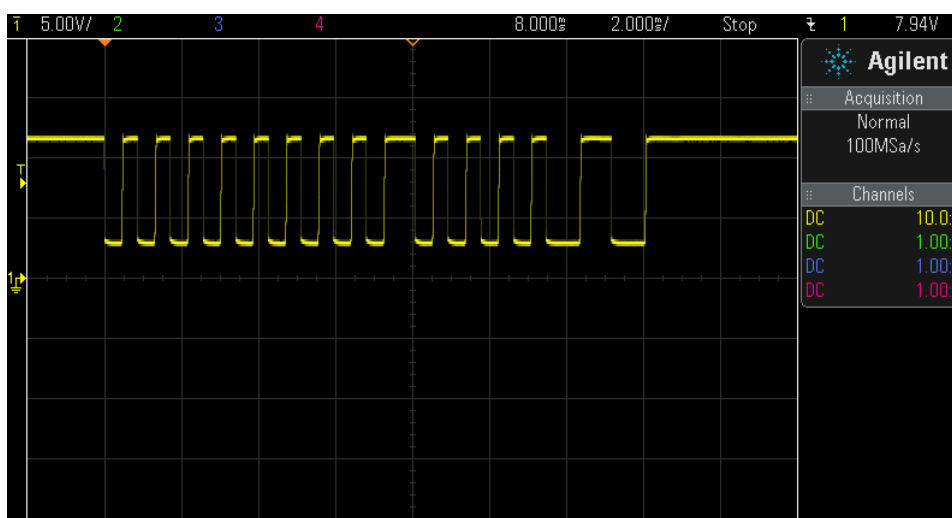
Funkčnost zařízení byla ověřena v nasimulovaných laboratorních podmínkách na fakultě elektrotechnické. V rámci testování byla ověřena funkčnost webového serveru, odesílání dat na ThingSpeak.com, odesílání emailů, které informují uživatele o naměřených parametrech a v neposlední řadě ověření DALI komunikace pomocí připojených LED panelů s DALI předřadníky a osciloskopu.

Základní fungování řídicí jednotky je zřejmé z dat, která jsou k zobrazení na ThingSpeak.com. Ve třech grafech jsou zde zobrazeny hodnoty, které byly na server odeslány během měření. Grafy zobrazují naměřené parametry v závislosti na čase. Z ThingSpeak.com má uživatel možnost stáhnout si všechna doposud naměřená data. Při překročení stanovené hodnoty odešle řídicí jednotka email s informací, která veličina překročila mez, jaká je její velikost a jaké jsou hodnoty zbylých parametrů. Ukázka tohoto emailu je na obrázku 7.4. Při výpadku internetu se naměřená data nemohou odesílat na webový server, jsou ukládána pouze na SD kartu a po opětovném připojení jsou z SD karty doodeslána na server.

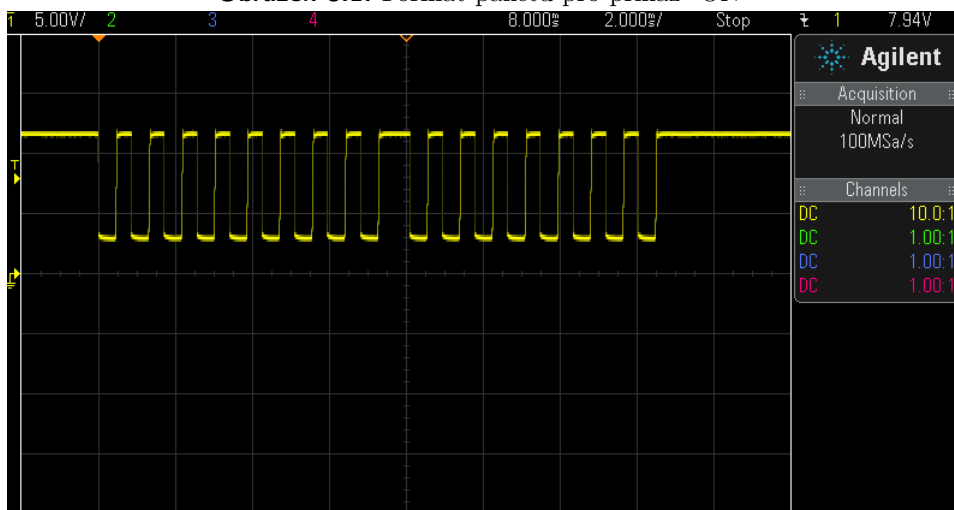
Při nasazení řídicí jednotky v reálných podmínkách v laboratorním chovu bude nutné podle požadavků konkrétního pracoviště upravit prahy měřených parametrů tak, aby při jejich překročení došlo k odeslání informačního emailu. V tuto chvíli jsou tyto prahy určeny experimentálně pouze pro účely ověření funkčnosti zařízení.

8.1 Testování DALI sběrnice

DALI komunikace byla testována připojením LED panelů s DALI předřadníky se současným připojením osciloskopu na sběrnici za účelem monitorování komunikace, resp. možnosti zobrazení odesílaných paketů. Níže jsou zobrazeny záznamy průběhů signálů na sběrnici pro příkazy `BroadcastOn` a `BroadcastOff`. Sekvence příkazů pro přímé řízení výkonu byla také ověřena, ale vzhledem k délce posloupnosti odesílaných řídicích paketů nebyl pořízen ukázkový snímek. Správnost reakce LED panelů na řídicí příkazy, na kterých byla funkčnost testována, byla ověřována vizuálně.



Obrázek 8.1: Formát paketu pro příkaz "ON"



Obrázek 8.2: Formát paketu pro příkaz "OFF"

Při odeslání příkazu ON došlo k rozsvícení LED panelu. Na osciloskopu se zobrazila sekvence, která je vidět na obrázku 8.1. Po odeslání příkazu OFF se LED panel vypnul a na osciloskopu byla sekvence zobrazená na obrázku 8.2.

Začátek paketu je v obou případech stejný. První bit odpovídá start bitu. Následujících sedm bitů s hodnotou '1' značí broadcastovou adresu. Osmým bitem adresy je řečeno, že se jedná o příkaz. Následuje 8 bitů, které příkaz specifikují. Pro ON se jedná o sekvenci '00000101'. Příkazu OFF náleží sekvence samých nul, tedy '00000000'. Na konci obou sekvencí se nachází dva stop bity. Oba pakety se shodovaly s průběhem předepsaného Manchester kódování.

Zbytek funkčnosti jednotky odpovídal očekávání. Pro shrnutí řídicí jednotka měří zvolené parametry, kterými jsou teplota a vlhkost vzduchu a intenzita osvětlení. Tyto parametry odesílá na server ThingSpeak.com. Parametry jsou vyhodnoceny a v případě, že překročily danou mez, je uživateli odeslán email. Při výpadku internetu se data ukládají na SD kartu a po opětovném připojení jsou data odeslána na server. Řídicí jednotka umožňuje ovládání světel DALI sběrnice. Uživatel má možnost světla přes webové rozhraní rozsvítit, zhasnout a nebo nastavit specifickou hodnotu intenzity osvětlení.



Kapitola 9

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit řídicí jednotku, která bude monitorovat předem specifikované parametry a zároveň umožní vzdálené ovládání osvětlení v laboratorních chovech. Řídicí jednotka zaznamenává teplotu, vlhkost vzduchu a intenzitu osvětlení. Nejdůležitějším z těchto parametrů je intenzita osvětlení, která přímo ovlivňuje cirkadiánní rytmy živočichů. V tuto chvíli nemají hlodavci v Národním ústavu duševního zdraví přístup k dennímu světlu a jejich režim je uměle rozdělen na dvě dvanáctihodinové světelné fáze, během kterých mají světla buďto rozsvícena na maximální intenzitu nebo mají vytvořenou tmou zhasnutými světly. Díky řídicí jednotce bude mít uživatel možnost ovládat světla ve zvěřinci skrze DALI sběrnici. Přes webovou stránku může světla rozsvítit nebo zhasnout a v případě potřeby nastavit intenzitu osvětlení na specifickou hodnotu. Záznam parametrů je podstatný i z toho důvodu, aby mohly být laboratorní experimenty prováděny opakovaně. Při opakování testů se musí dodržovat stejné podmínky, jinak se jejich výsledky nemohou porovnávat. Řídicí jednotka byla navržena tak, aby ukládala hodnoty i během výpadku internetu. Proto je k jednotce připojena SD karta. Na této kartě jsou uložena všechna naměřená data.

Tato práce vznikla ve spolupráci s Národním ústavem duševního zdraví, ve kterém se nachází laboratorní chovy určené mimo jiné k výzkumu léčiv nebo experimentům v oblasti chronobiologie. V těchto laboratorních chovech momentálně nelze ovládat osvětlení automaticky a nedochází ani k automatizovanému sběru informací o parametrech vnitřního prostředí zvěřince. V rámci připravovaného projektu dojde k modernizaci zvěřince a tím pádem i k využití řídicí jednotky.



Literatura

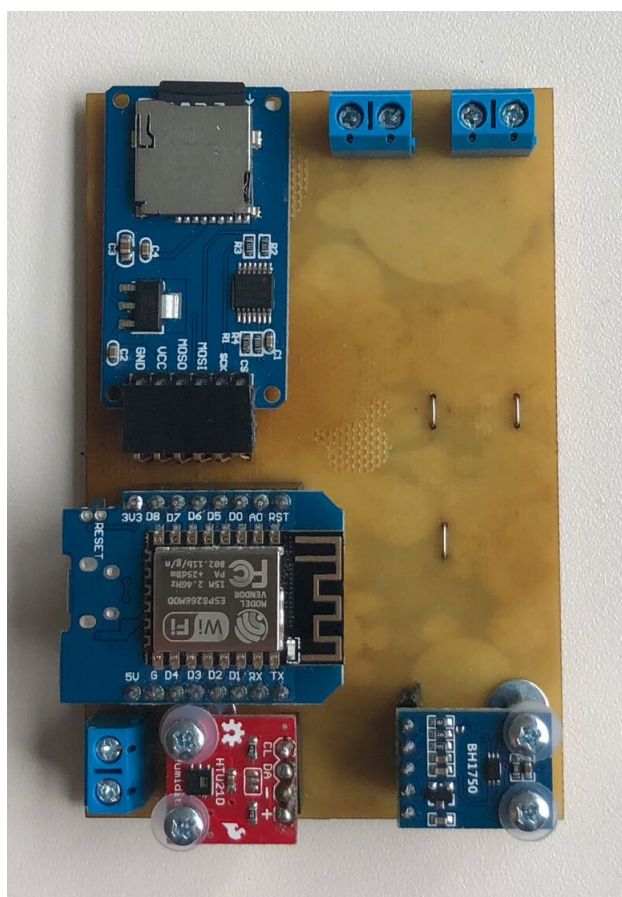
- [1] Peirson SN, Brown LA, Pothecary CA, Benson LA, Fisk AS. *Light and the laboratory mouse.*, J Neurosci Methods. 2018 Apr 15;300:26-36. doi: 10.1016/j.jneumeth.2017.04.007.
- [2] Council of Europe Convention ETS 123. *European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes.* 1986
- [3] Commission Recommendation of 18 June 2007 on *Guidelines for the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes* (notified under document number C(2007) 2525) (Text with EEA relevance) (OJ L 197 30.07.2007, p. 1, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reco/2007/526/oj>)
- [4] Castelhana-Carlos MJ, Baumans V. *The impact of light, noise, cage cleaning and in-house transport on welfare and stress of laboratory rats.* Laboratory Animals. 2009;43(4):311-327. doi:10.1258/la.2009.0080098
- [5] AULSEBROOK, Anne E. et al. *Nocturnal lighting in animal research should be replicable and reflect relevant ecological conditions.* Biology Letters. 2022, roč. 18, č. 3, s. 20220035–20220035.
- [6] Koniček, P. (no date) *Fotometrie.*
Available at: <http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/konicek/F2-B1B02FY2/priklady.pdf> (Accessed: May 7, 2023).
- [7] Urone, P.P. and Hinrichs, R. (2012) “Temperature, Kinetic Theory, and the Gas Laws,” v *College physics.* Houston, Texas: OpenStax College, pp. 519–562.

- [8] Svoboda, E. (2001) “Optika,” v *Přehled středoškolské fyziky*. Praha, Česká republika: Prometheus, pp. 351–402.
- [9] *Technical reference - espressif*.
Available at: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf (Accessed: March 22, 2023).
- [10] Němec, P. (2012) *Wemos d1 mini GPIO pinout*.
Available at: <https://nemec.cz/wemos-d1-mini-gpio-pinout-pro-arduino-ide/> (Accessed: March 15, 2023).
- [11] Brian et al. (2022) *ESP8266 pinout reference: Which GPIO pins should you use?*, Random Nerd Tutorials.
Available at: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/> (Accessed: April 22, 2023).
- [12] Grokhotkov, I. (2017) *ESP8266WiFi library, ESP8266WiFi library - ESP8266 Arduino Core*.
Available at: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html> (Accessed: March 10, 2023).
- [13] Xukyō (2022) *Using the EEPROM with the ESP8266*, AranaCorp.
Available at: <https://www.aranacorp.com/en/using-the-eprom-with-the-esp8266/> (Accessed: April 3, 2023).
- [14] *HTU21D(F) sensor digital relative humidity sensor with temperature output* (2013) HTU21D datasheet. Available at: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899_HTU21D.pdf (Accessed: October 6, 2022).
- [15] Akbari, M. (2021) *Interfacing HTU21D temperature/humidity sensor with Arduino*, Electropeak.
Available at: <https://electropeak.com/learn/interfacing-htu21d-temperature-humidity-sensor-with-arduino/> (Accessed: January 17, 2023).
- [16] Semiconductor, R. (2011) *Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC*, Technical note.
Available at: <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf> (Accessed: February 17, 2023).
- [17] *BH1750 – ambient light sensor* (2019) Components101. Available at: <https://components101.com/sensors/bh1750-ambient-light-sensor> (Accessed: April 22, 2023).
- [18] *Micro SD Card Adapter Module* (2021) Components101. Available at: <https://components101.com/modules/micro-sd-card-module-pinout-features-datasheet-alternatives> (Accessed: February 17, 2023).

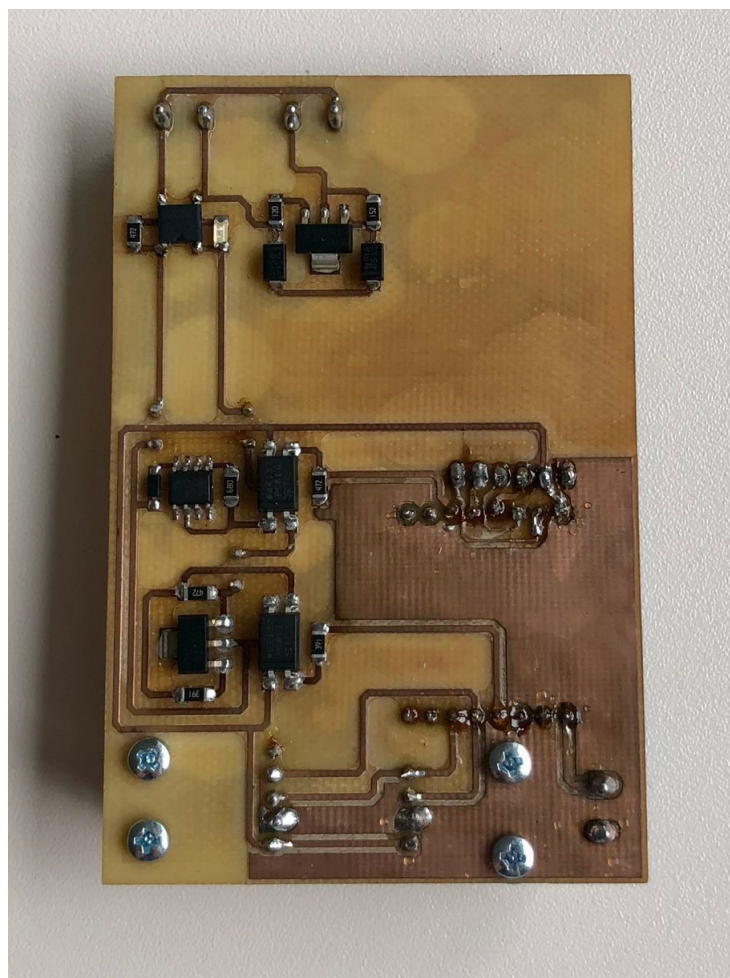
- [19] D. S, H. T, V. E, R. D. S, S. D. M and P. Sivakumar, *Implementing BeagleBone Black as a Single Board Computer by Transferring E-mail using SMTP*, 2022 International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), Pudukkottai, India, 2022, pp. 1184-1187, doi: 10.1109/ICACRS55517.2022.10029224.
- [20] ThingSpeak team (2023) *Learn more about ThingSpeak, Learn More - ThingSpeak IoT*. Available at: https://thingspeak.com/pages/learn_more (Accessed: April 23, 2023).
- [21] Smith, D. (2022) *Manchester encoding*, Sierra Hardware Design's Blog. Available at: <https://sierrahardwaredesign.com/basic-networking/glossary-item-manchester-encoding/> (Accessed: April 5, 2023).
- [22] Husain, S. (2023) *Digitally addressable lighting interface*, Mouser. Available at: <https://eu.mouser.com/applications/lighting-digitally-addressable/> (Accessed: May 1, 2023).
- [23] DALI forward and backward frame (2017) *Simple DALI Controller*. Available at: <https://www.hackster.io/NabiyevTR/simple-dali-controller-506e44> (Accessed: February 17, 2023).
- [24] Husain, S. (2012) *Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Communication*, Dali app. Note - Microchip Technology. Available at: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01465A.pdf> (Accessed: April 26, 2023).
- [25] DevXplained (2022) HTU21D humidity sensor, *HTU21D Humidity Sensor*. DevXplained. Available at: <https://devxplained.eu/en/blog/htu21d-module> (Accessed: May 1, 2023).
- [26] Grokhotkov, I. (2017) *EEPROM*, Libraries - ESP8266 Arduino Core. Available at: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/libraries.html#eeprom> (Accessed: 10 May 2023).
- [27] Stoffregen, P. (2021) *Time Library for Arduino*, *GitHub*. Available at: <https://github.com/PaulStoffregen/Time> (Accessed: 10 May 2023).
- [28] Lawlor, L. (2015) *ThingSpeak*, *GitHub*. Available at: <https://github.com/iobridge/thingspeak> (Accessed: 03 May 2023).

Příloha A

Realizovaná řídicí jednotka



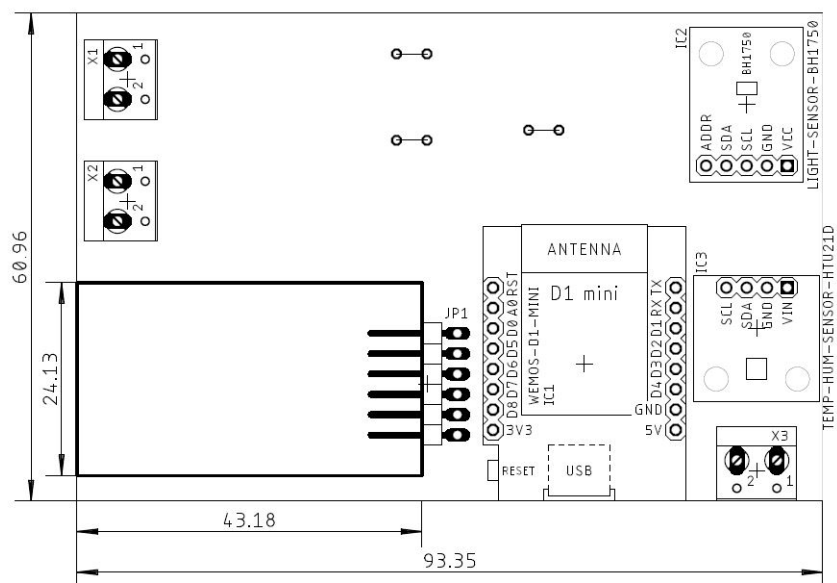
Obrázek A.1: Řídicí jednotka z vrchní strany



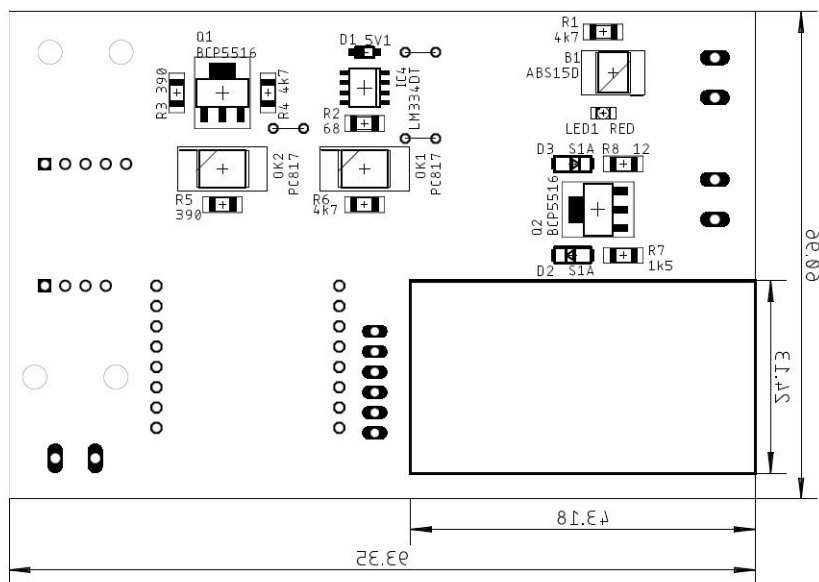
Obrázek A.2: Řídicí jednotka ze spodní strany

Příloha B

Návrh plošného spoje



Obrázek B.1: Rozložení plošného spoje vrchní strana



Obrázek B.2: Rozložení plošného spoje spodní strana